

Escala Wind Srl

Parco Eolico Escala sito nel Comune di Escalaplano

Calcoli preliminari di dimensionamento delle
strutture

Maggio 2022



Regione Autonoma
della Sardegna



Comune di
Escalaplano



Committente:

Escala Wind Srl

Escala Wind Srl

Via Sardegna, 40

00187 Roma

P.IVA/C.F. 16181131000

Titolo del Progetto:

Parco Eolico Escala sito nel Comune di Escalaplano

Documento:

Studio di impatto ambientale

N° Documento:

IT-VesEsc-CLP-SPE-TR-05

Responsabile dello SIA



I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l. Unipersonale

Sede Legale: Via Giua s.n.c. - Z.I. CACIP - 09122

Cagliari (I)

C.C.I.A.A. Cagliari n. 221254 - P.I.

02748010929

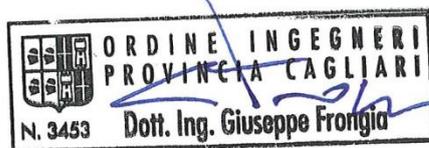
Tel. /Fax +39.070.658297

Email: info@iatprogetti.it

PEC iat@pec.it

Web: www.iatprogetti.it

Ing. Giuseppe Frongia



Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
0	30/03/2023	Emissione	GC	GF	GF

Sommario

SOMMARIO	3
1 PREMESSA	4
2 ASPETTI GENERALI	5
3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
4 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA.....	7
4.1 Modello geotecnico di riferimento	7
4.2 Stratigrafia di progetto.....	7
5 CARICHI DI PROGETTO	8
6 VERIFICA STABILITA' GLOBALE (EQU)	10
7 VERIFICA DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE SUPERFICIALE (STR)	13
8 VERIFICA DI RESISTENZA DEL TERRENO (GEO)	17
8 CONCLUSIONI	18

1 PREMESSA

Il presente elaborato contiene i calcoli preliminari delle strutture di fondazione degli aerogeneratori previsti nel progetto del Parco eolico denominato "Escala", proposto dalla società Escala Wind Srl, da installare nel comune di Escalaplano; in particolare saranno condotte le verifiche strutturali ritenute significative ai fini del conseguimento dell'Autorizzazione Unica del progetto ai sensi del D.Lgs. 387/2003 Art. 12.

Il documento è redatto dalla I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l. con il contributo specialistico dell'ing. Gianfranco Corda.

Per le finalità di calcolo, si è fatto riferimento ai dati di caratterizzazione delle terre contenuti nella relazione geologica e geotecnica allegata al progetto dell'impianto.

L'impianto sarà composto da n. 12 aerogeneratori riferibili indicativamente al modello:

Vestas EnVentus V162 - 6.0, con potenza nominale di 6.0 MW, altezza al mozzo pari a 125 m e altezza complessiva di 206 m.

Le verifiche strutturali per il plinto di fondazione sono basate sulle azioni di progetto indicate dal costruttore Vestas per il modello EV162 - 6.0, altezza al mozzo pari a 125 m; le azioni di progetto sono state desunte dallo specifico fascicolo sui carichi in fondazione fornito dal costruttore, documento "Foundation Load 0096 – 8470 VER 03".

2 Aspetti generali

Il progetto proposto prevede l'installazione di n. 12 turbine di grande taglia, riferibili indicativamente al modello Vestas EnVentus V162-6.0 MW, posizionate su torri di sostegno dell'altezza indicativa pari a 125 m, nonché l'approntamento delle opere accessorie indispensabili per un ottimale funzionamento e gestione degli aerogeneratori (viabilità e piazzole di servizio, distribuzione elettrica di impianto, stazione di trasformazione MT/AT e opere per la successiva immissione dell'energia prodotta alla Rete di Trasmissione Nazionale).

Gli aerogeneratori in progetto saranno dislocati tra quote altimetriche indicativamente comprese nell'intervallo 600÷700 m s.l.m.

Ai fini delle presenti verifiche strutturali sono state considerate le azioni massime fornite dal costruttore Vestas nel documento " Foundation Load 0096 – 8470 VER 03 ".

Ferme restando le caratteristiche dimensionali dell'aerogeneratore, non può escludersi peraltro che la scelta definitiva possa ricadere su un modello simile con migliori prestazioni di esercizio, qualora disponibile sul mercato prima dell'ottenimento della Autorizzazione Unica di cui all'art. 12 del D.Lgs. 387/2003.

La natura dei terreni di sedime è caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso carbonatico, perlopiù in affioramento o sormontato da una coltre eluvio-colluviale poco spessa.

La tipologia dei terreni è dunque idonea per la realizzazione di fondazioni dirette, fatta salva l'esigenza di acquisire riscontri puntuali in tutte le postazioni eoliche, attraverso l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche e geotecniche che dovrà obbligatoriamente supportare la successiva fase di progettazione esecutiva.

Il basamento di fondazione previsto in progetto è del tipo a plinto superficiale, da realizzare in opera in calcestruzzo armato, a pianta circolare di diametro pari a 25 metri.

La fondazione oggetto di verifica è sostanzialmente una piastra circolare a sezione variabile con spessore massimo al centro, pari a circa 350 cm, e spessore minimo al bordo, pari a 50 cm.

La porzione centrale, denominata "colletto", presenta altezza costante di 3.50 m per un diametro pari a circa 6.00 m.

Il colletto è il nucleo del basamento in cui verranno posizionati i tirafondi di ancoraggio del primo anello della torre metallica, il restante settore circolare sarà ricoperto con uno strato orizzontale di rilevato misto arido, con funzione stabilizzante e di mascheramento.

I calcoli e le verifiche di seguito illustrati saranno preceduti da un breve cenno ai riferimenti della normativa vigente nonché alle azioni ed ai carichi di progetto.

Nello specifico sono stati condotti i seguenti accertamenti: verifica di stabilità globale del manufatto, considerato come corpo rigido, verifiche di resistenza del manufatto in calcestruzzo, verifiche di resistenza del terreno nonché il calcolo dei cedimenti attesi, applicando i coefficienti di sicurezza previsti dalla normativa tecnica in corso di validità (DM 17/01/2018).

Le significative azioni orizzontali e flettenti, dovute alla particolare altezza delle torri in progetto, indirizzano il dimensionamento della fondazione ad un manufatto massivo tale da garantire anzitutto la stabilità globale oltre che a distribuire i carichi sul piano di posa.

Le pressioni di contatto calcolate risultano sempre inferiori al valore di resistenza del terreno, i cedimenti previsti sono generalmente trascurabili.

Il dimensionamento eseguito ha carattere di verifica preliminare, la geometria e le dimensioni del plinto indicate in precedenza sono da ritenersi orientative e potrebbero variare a seguito delle risultanze del dimensionamento esecutivo delle opere nonché sulla base di eventuali indicazioni specifiche fornite dal costruttore dell'aerogeneratore, in funzione della scelta definitiva del modello di turbina che sarà operata nell'ambito della fase di Autorizzazione Unica del progetto.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

— Legge 05/11/1971 n. 1086

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

— D.M. 17/01/2018 – NTC 2018

Norme Tecniche per le Costruzioni.

— Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 23/02/2019

Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento:

Tipo di costruzione: 2 (opere ordinarie)

Vita nominale: $VN \geq 50$ anni

Classe d'uso: IV

Periodo di riferimento: $VR = 100$ anni

Metodo di calcolo e verifica:

È stato utilizzato il metodo degli Stati Limite applicandolo così come previsto dalle NTC 2018 (D.M. 17/01/2018).

Le verifiche di stabilità sono state condotte per via diretta dallo scrivente, i calcoli e le verifiche di resistenza sono stati eseguiti utilizzando il programma di calcolo strutturale CDSWIN della STS, programma di calcolo automatico agli elementi finiti, e il programma di calcolo geotecnico LoadCap della GEOSTRU.

4 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

4.1 Modello geotecnico di riferimento

I calcoli strutturali delle fondazioni fanno riferimento ai dati contenuti nella relazione geologica e geotecnica preliminare redatta dalla Dott.ssa Geologo Maria Francesca Lobina.

L'area di sedime che ospiterà l'intervento vede la presenza di un substrato roccioso carbonatico debolmente fratturato con caratteristiche geotecniche da buone a discrete, perlopiù in affioramento o sormontato da una coltre eluvio-colluviale poco spessa (20÷100 cm).

Quest'ultima è costituita da terre a granulometria prevalentemente limo-argillosa con moderata frazione sabbiosa con presenza sporadica di clasti carbonatici e più raramente arenacei.

Salvo gli opportuni ed obbligatori accertamenti nella fase più avanzata della progettazione, sono state individuate le seguenti tipologie di terreni direttamente interagenti con le strutture di fondazione e per le quali si riportano le caratteristiche meccaniche.

Unità B2 – terre sabbiose e limo-argillose – profondità: - 0,20 / -1.00 m

Peso specifico = 18 - 19 kN/m³

Angolo attrito interno ϕ = 21 - 25°

Coesione c = 0.05 / 0.30 daN/cm²

Unità DOR – Roccia sedimentaria costituita da calcari – profondità: -1.00 m ed oltre

Peso specifico = 24 - 26 kN/m³

Angolo attrito interno ϕ = 35 - 42°

Modulo elastico $E > 1000$ daN/cm²

Coesione $c = 3 / 5$ daN/cm²

4.2 Stratigrafia di progetto

La tipologia dei terreni è idonea per la realizzazione di fondazioni dirette solo laddove il piano di posa risulti inserito nel substrato roccioso (Strato DOR).

La stratigrafia considerata nel calcolo preliminare delle opere di fondazione è stata valutata considerando cautelativamente i valori della caratterizzazione meccanica delle rocce carbonatiche (Unità DOR), considerando che gli strati superficiali saranno rimossi dalle attività di scavo; si rimanda alle successive fasi la valutazione dei dati puntuali per ogni singola piazzola di installazione.

Peso specifico = 24 kN/m³

Angolo attrito interno ϕ = 35°

Modulo elastico $E = 1000$ daN/cm²

Coesione $c = 3 / 5$ daN/cm²

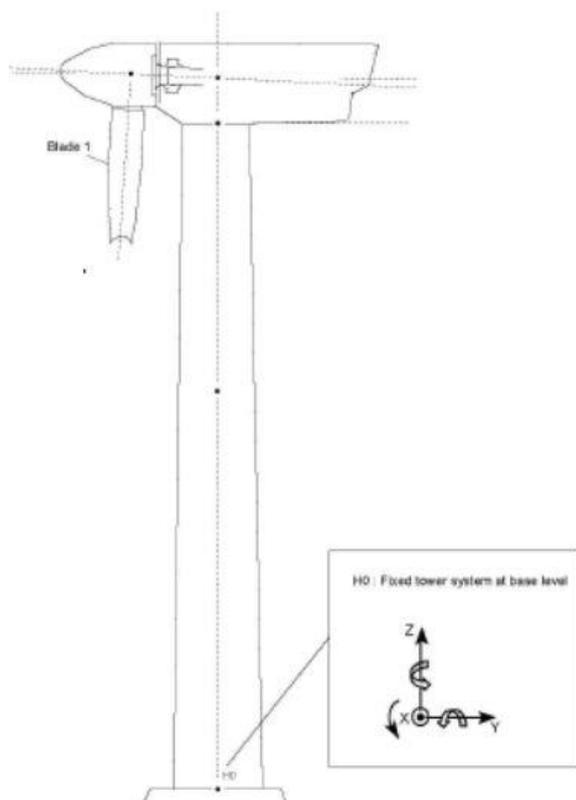
I Geologi riferiscono che cautelativamente si possono assumere valori di capacità portante dell'ordine di 2,5 daN/cm², senza che si manifestino cedimenti di entità apprezzabile o comunque pregiudizievoli per la stabilità delle strutture in progetto.

I terreni indagati possono essere individuati nella Categoria di sottosuolo del tipo "B" ovvero "rocce tenere o depositi di terreni a grana grossa molto addensati".

5 CARICHI DI PROGETTO

Per la definizione delle azioni di progetto al piede della torre sono state assunte come riferimento le azioni agenti sulla fondazione di una torre eolica di caratteristiche assimilabili all'aerogeneratore previsto in progetto.

Per le verifiche preliminari sulle strutture di fondazione sono state considerate le azioni massime fornite dal costruttore nel documento " Foundation Load 0096 – 8470 VER 03 ".



Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt	Mzt	FndFr	Fzt
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt	14Ecdvraa00(fam89)	1.35	Abs	147900	3222	1142	-6853
Mzt	23NTMSCHWO100(fam216)	1.35	Abs	43280	-16550	475.0	-6595
FndFr	1314etm00(fam81)	1.35	Abs	127100	-2004	1252	-6863
Fzt	12lceUHWO100(fam70)	1.35	Abs	67050	-2263	502.1	-7071

Nella tabella precedente sono definite le azioni caratteristiche dei carichi massimi al piede della torre, tali valori verranno utilizzati per le verifiche allo stato limite ultimo con i coefficienti di sicurezza previsti dalla normativa italiana, il DM 17/01/2018.

In assenza di specifiche indicazioni in questa fase si considerano i carichi precedenti (*extreme loads*) calcolati per le condizioni climatiche riportate nella tabella seguente.

Description	Unit	Value	Value
Design code	-	IEC-61400-1 Ed3	IEC-61400-1 Ed3
IEC Class	-	3A	3B
Design life time according to IEC	years	20	25
Annual average wind speed at hub height, V_{ave}	m/s	7.5	7.5
Extreme wind speed at hub height (10-min with 50 years return period), V_{ref}	m/s	37.5	37.5
Mean turbulence intensity at 15 m/s, I_{ref}	-	0.16	0.14
Average air density, ρ	kg/m ³	1.225	1.225

Table 1 Design code information and climatic conditions

Le predette condizioni climatiche sono da considerare quale condizione limite per poter installare questo la Torre in progetto nel sito in progetto.

È dunque necessario verificare la compatibilità tra le condizioni climatiche previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per il sito di installazione e quelle limite specificate nella tabella.

In particolare, è necessario verificare che la velocità massima del vento prevista dalla normativa vigente per il sito in progetto sia almeno inferiore a quella prevista nella tabella precedente:

Art. 3.3 D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) - Azioni del Vento

Sito installazione: Regione Sardegna - Provincia Sud Sardegna – Comune di Escalaplano

$a_s = 700$ m s.l.m.m. $a_{s, max} = a_s + 206$ (altezza mozzo + raggio) = 906 m

Zona Climatica di riferimento = 5

$a_0 = 750$ m $v_{b,0} = 28$ m/s $k_s = 0.40$

per $a_s > a_0$ $v_b = v_{b,0} \times c_a$ $c_a = 1 + k_s (a_{s, max} / a_0 - 1)$ $c_a = 1.08$

Velocità massima di riferimento indicata dalle NTC 2018 (10 min, 50 anni Tr):

$v_b = 30.33$ m/s

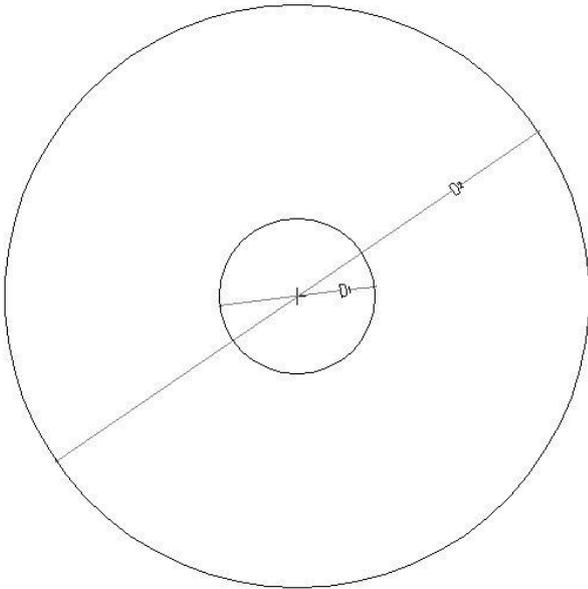
Velocità massima indicata dal produttore (10 min, 50 anni Tr):

$V_{ref} = 37.5$ m/s

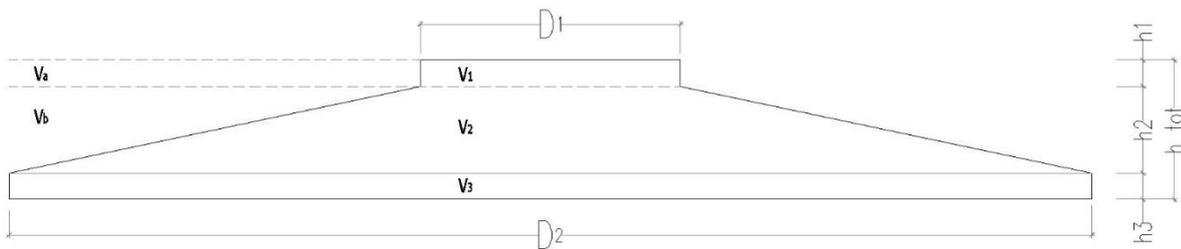
La velocità massima per la Classe IEC 3 è superiore a quella prevista dalla normativa vigente per il sito in progetto, la verifica di compatibilità è dunque soddisfatta.

6 VERIFICA STABILITA' GLOBALE (EQU)

Si conducono nel seguito le verifiche di stabilità globale del basamento di fondazione, con riferimento alle azioni di progetto precedentemente indicate.



Schema in pianta basamento di fondazione



DATI GEOMETRICI FONDAZIONE:

diametro colletto =	$d_1 = 6.00 \text{ m}$
diametro esterno =	$d_2 = 25.00 \text{ m}$
altezza colletto =	$h_1 = 0.50 \text{ m}$
altezza intermedia =	$h_2 = 2.50 \text{ m}$
altezza alla base =	$h_3 = 0.50 \text{ m}$
altezza totale =	$h_{tot} = 3.50 \text{ m}$

A - VERIFICA AL RIBALTAMENTO FONDAZIONE SUPERFICIALE

$\gamma_{G1} = 0.90$	$\gamma_{G2} = 0.80$	$\gamma_q = 1.50$
----------------------	----------------------	-------------------

CARICHI VERTICALI

Peso del basamento

$$G_1 = 25 \times \pi \times [d_1^2 \times h_1 + 1/3 \times (d_1^2 + d_1 \times d_2 + d_2^2) \times h_2 + d_2^2 \times h_3] / 4$$

$$G_1 = 19'750 \text{ kN}$$

Peso del terreno di ricoprimento

$$G_2 = 16 \times \pi \times [(d_2^2 - d_1^2) \times (h_1 - 0.10) + (d_2^2 \times h_2) - 1/3 \times (d_1^2 + d_2 \times d_1 + d_2^2) \times h_2] / 4$$

$$G_2 = 14'100 \text{ kN}$$

Peso della torre

$$V = 7'071 \text{ kN}$$

AZIONI PER LA CONDIZIONE DI CARICO EQU

(peso proprio basamento + peso terreno ricoprimento - senza coefficienti parziali)

$G_1 = 19'750 \text{ kN}$	$G_2 = 14'100 \text{ kN}$
---------------------------	---------------------------

(momento flettente + azione orizzontale al piede della torre + peso permanente torre – senza coefficienti parziali)

$M = 147'900 \text{ kNm}$	$H = 1'252 \text{ kN}$	$V = 7'071 \text{ kN}$
---------------------------	------------------------	------------------------

MOMENTO STABILIZZANTE

$$M_{STA} = (0.9 \times G_1 + 0.8 \times G_2 + 0.9 \times V) \times d_2 / 2$$

$$M_{STA} = (0.9 \times 19'750 + 0.8 \times 0 + 0.9 \times 7'071) \times 12.50 = 301'700 \text{ kNm}$$

MOMENTO RIBALTANTE

$$M_{RIB} = \gamma_q \times (M + H \times h_{tot})$$

$$M_{RIB} = 1.5 \times (147'900 + 1'252 \times 3.5) = 228'423 \text{ kNm}$$

Coefficiente di sicurezza:

$$M_{STA} / M_{RIB} = 1.32$$

Verifica soddisfatta senza considerare il peso stabilizzante del rilevato.

B – VERIFICA SCORRIMENTO FONDAZIONE SUPERFICIALE

$\gamma_{G1} = 0.90$	$\gamma_{G2} = 0.80$	$\gamma_q = 1.50$
----------------------	----------------------	-------------------

Risultante forze che attivano lo scorrimento:

$$H = 1'252 \text{ kN}$$

$$F_{scr} = \gamma_q \times H = 1'878 \text{ kN}$$

Risultante forze che si oppongono allo scorrimento:

Peso della torre

$$V = 7'071 \text{ kN}$$

Peso del basamento

$$G_1 = 19'750 \text{ kN}$$

Peso del terreno di ricoprimento

$$G_2 = 14'100 \text{ kN}$$

Angolo di attrito terreno/fondazione

$$\phi = 30^\circ$$

$$\phi' = 0.5 \phi$$

$$F_{sta} = \tan\phi' \times (\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times V) = 6'468 \text{ kN}$$

Coefficiente di sicurezza:

$$F_{sta} / F_{scr} = 3.44$$

Verifica soddisfatta senza considerare il peso stabilizzante del rilevato.

7 VERIFICA DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE SUPERFICIALE (STR)

Si riportano nel seguito i risultati di calcolo del modello strutturale, realizzato discretizzando il basamento in elementi finiti di sezione variabile, e verificando le sezioni in c.a.

La fondazione è stata verificata con riferimento alla stratigrafia di progetto, considerando la Categoria di sottosuolo B ed una costante di winkler pari a 8 kg/cm^3 .

COMBINAZIONE DI CARICO 1 – (SLE)

(peso proprio basamento + peso terreno ricoprimento - senza coefficienti parziali)

$G_1 = 19'750 \text{ kN}$	$G_2 = 14'100 \text{ kN}$
---------------------------	---------------------------

COMBINAZIONE DI CARICO 2 – (SLE)

(peso proprio basamento + peso terreno ricoprimento + azioni dalla Torre - senza coefficienti parziali)

$G_1 = 19'750 \text{ kN}$	$G_2 = 14'100 \text{ kN}$	$V = 7'071 \text{ kN}$
$M = 147'900 \text{ kNm}$	$H = 1'252 \text{ kN}$	$M_T = 3'222 \text{ kNm}$

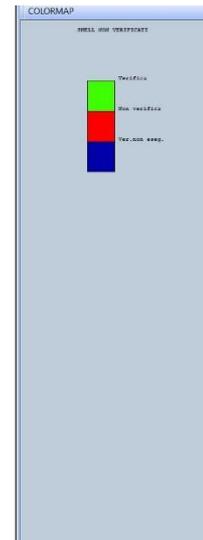
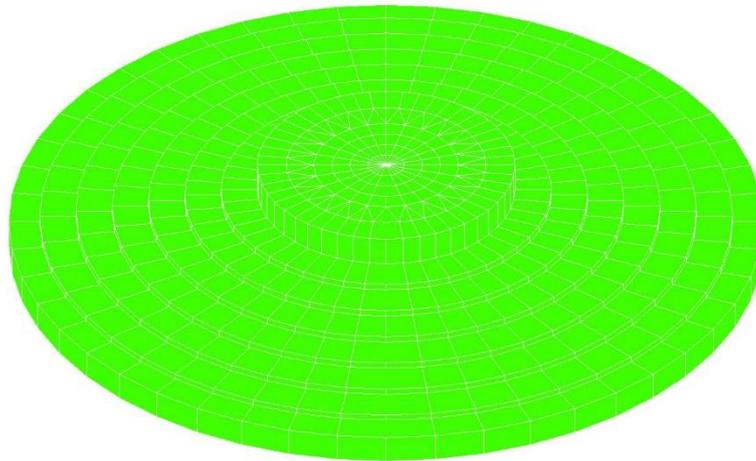
COMBINAZIONE DI CARICO 3 – (SLU)

(peso proprio basamento + peso terreno ricoprimento + azioni dalla Torre - con i coefficienti parziali)

$G_1 = \gamma_{G1} \times 19'750 \text{ kN}$	$G_2 = \gamma_{G2} \times 14'100 \text{ kN}$	$V = \gamma_{G2} \times 7'071 \text{ kN}$
$M = \gamma_q \times 147'900 \text{ kNm}$	$H = \gamma_q \times 1'252 \text{ kN}$	$M_T = \gamma_q \times 3'222 \text{ kNm}$

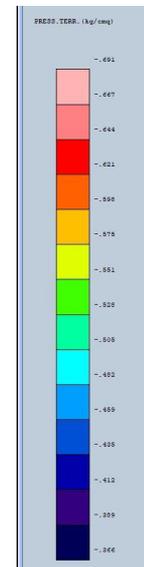
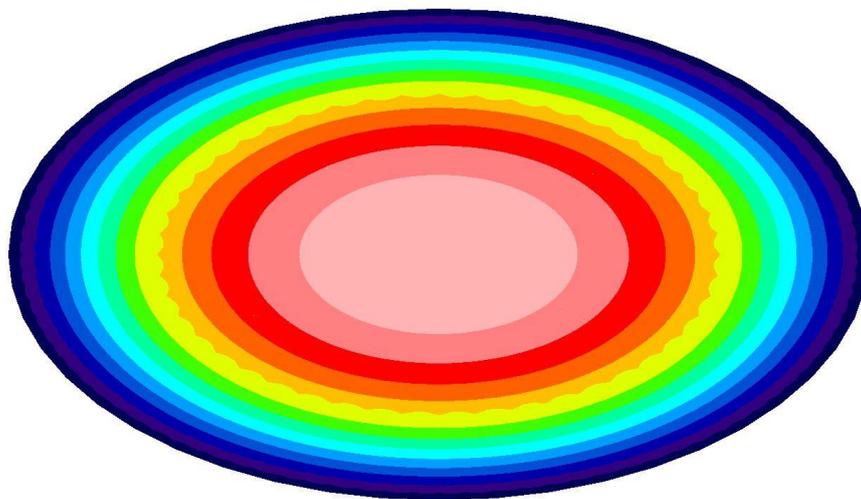
$\gamma_{G1} = 1.3$	$\gamma_{G2} = 1.5$	$\gamma_q = 1.50$
---------------------	---------------------	-------------------

COLORMAP VERIFICHE ELEMENTI SHELL



***α* – PRESSIONI DI CONTATTO**

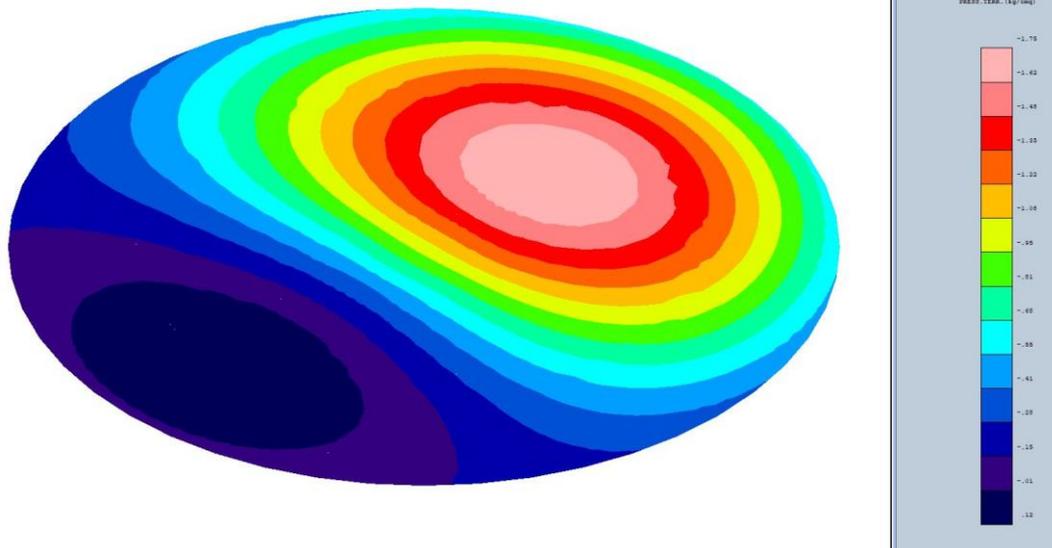
COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 1 (P.P. + PERM.)



Pressione di contatto SLE:

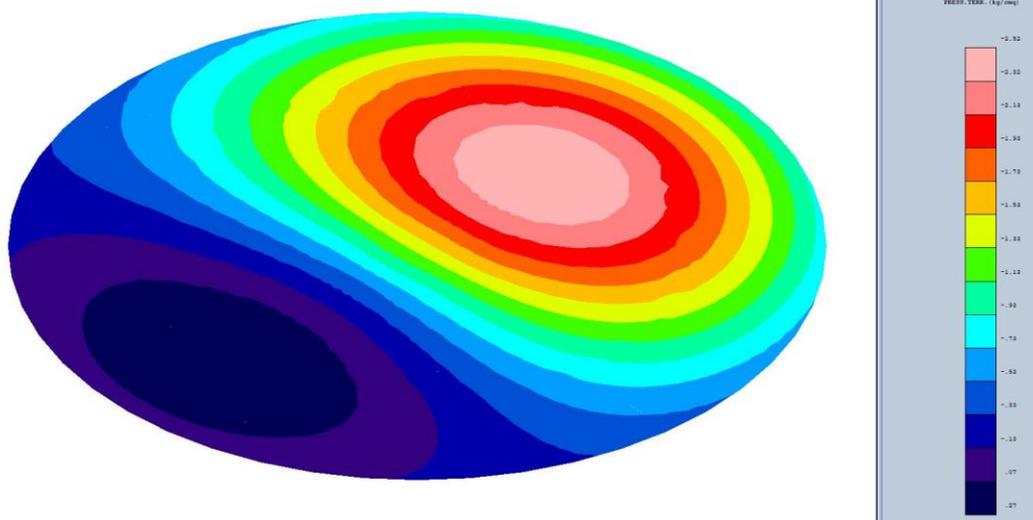
$$\sigma_{pp} = 0.70 \text{ kg/cm}^2$$

COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 2 (P.P. + PERM. + AZIONI TORRE)



Pressione di contatto SLE: $\sigma_{es} = 1.75 \text{ kg/cm}^2$

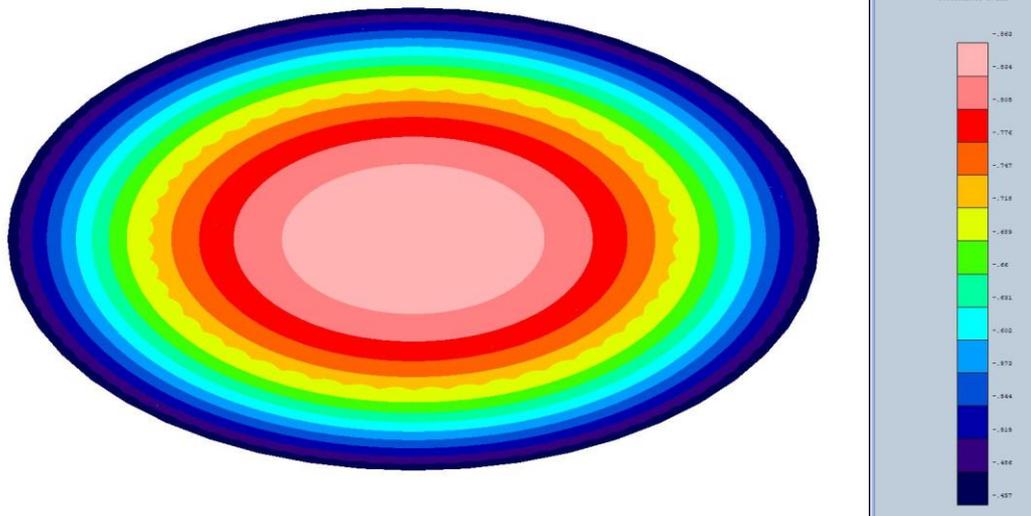
COLORMAP PRESSIONI DI CONTATTO COMBINAZIONE 3 (P.P. + PERM. + AZIONI TORRE)



Pressione di contatto SLU: $\sigma_{max} = 2.52 \text{ kg/cm}^2$

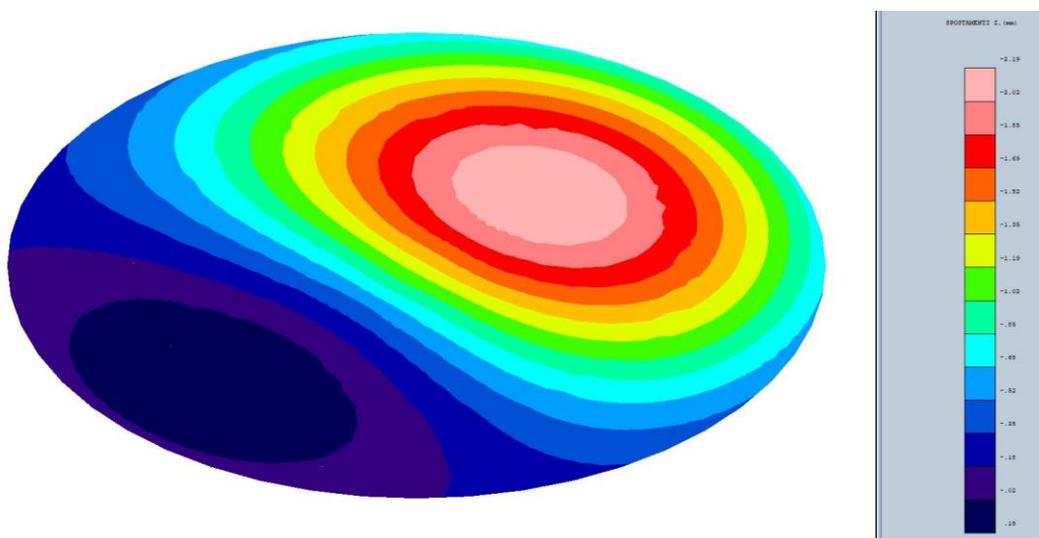
b – CEDIMENTI ATTESI

COLORMAP SPOSTAMENTI VERTICALI COMBINAZIONE 1 (P.P. + PERM.)



Spostamento massimo SLE: $w_1 = 0.86 \text{ mm}$

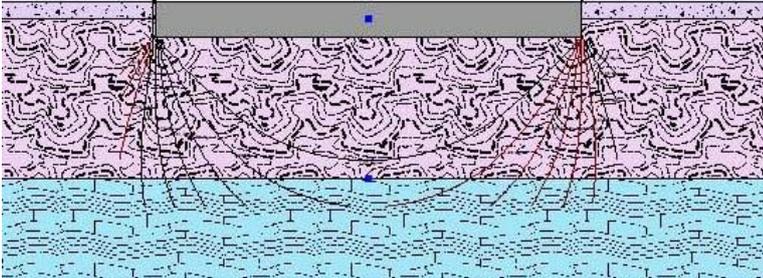
COLORMAP SPOSTAMENTI VERTICALI COMBINAZIONE 2 (P.P. + PERM. + AZIONI TORRE)



Spostamento massimo SLE: $w_{es} = 2.19 \text{ mm}$

8 VERIFICA DI RESISTENZA DEL TERRENO (GEO)

Le verifiche geotecniche sono state condotte con l'ausilio del software LoadCap 2020, programma di verifiche geotecniche per fondazioni superficiali.



DATI GENERALI

=====	
Diametro della fondazione	25.0 m
Profondità piano di posa	4.00 m
Altezza di incastro	1.0 m
Pressione massima sul terreno	2.52 kg/cm ²
Cedimento massimo atteso	2.19 mm
=====	

La presenza del substrato lapideo offre una resistenza di progetto molto alta, i cedimenti massimi sono trascurabili.

9 Conclusioni

Il presente elaborato contiene i calcoli preliminari delle strutture di fondazione degli aerogeneratori previsti nel progetto del Parco eolico denominato “Escala”, proposto dalla società Escala Wind Srl, da installare nel comune di Escalaplano (Provincia del Sud Sardegna).

Con riferimento ai carichi di progetto, alla caratterizzazione geotecnica preliminare nonché ai risultati delle verifiche di stabilità, resistenza delle strutture e del terreno di fondazione, si può riassumere quanto segue:

- nei siti di installazione degli aerogeneratori in progetto è stata verificata una fondazione diretta a pianta circolare, avente diametro di 25.00 m e spessore massimo pari a 3.50 metri;
- la presenza di un substrato roccioso carbonatico offre una resistenza di progetto molto elevata ed i cedimenti massimi sono trascurabili;
- nei siti di installazione in cui, nell’ambito delle indagini geologiche e geotecniche da condursi nella fase più avanzata della progettazione, fosse rinvenuta alla quota di posa del basamento la presenza di materiale poco addensato di spessore superiore agli strati descritti in relazione geologica, la profondità di scavo dovrà essere opportunamente incrementata e la quota ottimale di posa potrà essere recuperata con calcestruzzo magro dello spessore necessario (50÷100 cm).

Nelle fasi più avanzate della progettazione, pertanto, sarà indispensabile disporre di dati geotecnici specifici per ogni singola postazione eolica al fine di confermare o, se necessario, variare le previsioni ed i calcoli qui riportati in via preliminare.